

## 8. Analogverfahren

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Analogverfahren im engeren Sinne. Derartige Verfahren vergleichen klimatologische Parameter bzw. Feldverteilungen der Gegenwart mit jenen eines historischen Datenarchivs. Dabei wird nach möglichst guten Übereinstimmungen, den analogen Fällen, gesucht. Vorhergesagt wird dann die Folgewitterung in der Vergangenheit, d.h. es liegt die Annahme zugrunde, daß ähnliche Anfangsbedingungen eine vergleichbare Entwicklung zur Folge haben.

Trotz des simplen Kerns dieser Methodik ist die Variationsmöglichkeit analoger Techniken immens. Vor allem die beliebig wählbare Stärke des Kollektivs analoger Fälle und eine Vielzahl denkbarer Auswahlkriterien sind nahezu unbegrenzt kombinierbar. Werden mehrere analoge Fälle verwendet, so ist zusätzlich zu entscheiden, auf welche Weise die einzelnen Folgeentwicklungen zu einer Prognose zusammengefaßt werden sollen. Neben der üblichen Mittelung stehen z.T. auch hier Alternativen zur Auswahl. Letztlich stellt sich die Frage, ob und ggf. wie eine Analogieschwelle, d.h. eine Grenze, welche die Analoga von den nicht analogen Fällen trennt, zu definieren ist. Daher gilt es allgemein als sehr schwierig, die bestmögliche Vorgehensweise zu ermitteln.

### 8.1 Vergleich einiger Auswahlkriterien

Bei der Wahl der Größe des Kollektivs der analogen Fälle spielten methodische Zwänge eine entscheidende Rolle. Einerseits sollte die Leistungsfähigkeit eines Verfahrens, bei welchem eine multiple lineare Regression mit Prediktoren der analogen Fälle durchgeführt wird, bestimmt werden (vergl. Abschnitt 8.2.1). Aus Gründen der Stabilität erfordert diese Methodik ein möglichst umfangreiches Kollektiv. Andererseits existieren derart viele Möglichkeiten der mittleren monatlichen Druckverteilung, daß ein zu großes Kollektiv unweigerlich zur Folge hätte, daß nicht alle Analoga tatsächlich noch als ähnlich zu bezeichnen wären. Im Sinne eines Kompromisses wurde beschlossen, daß jeweils ein Sechstel des gesamten zur Verfügung stehenden Datenarchivs dem Kollektiv angehören soll. Da der verwendete Datensatz 90 Jahre umfaßt (vergl. Kapitel 2), wurden stets 15 analoge Fälle bestimmt. Eine variable, durch die Verwendung von Schwellenwerten bestimmte Kollektivgröße war daher nicht möglich.

Hingegen standen bei der Frage nach dem richtigen Auswahlkriterium, d.h. bei der Frage, woran die Analogien festzumachen sein, sämtliche Möglichkeiten zur Auswahl. Da intuitiv davon ausgegangen wurde, daß unterschiedliche Algorithmen u.U. eine völlig verschiedene Zusammensetzung des Kollektivs bedingen können, wurden insgesamt drei Auswahlkriterien einem Test unterzogen. Ziel war es herauszufinden, ob eine Methode den anderen überlegen ist. Zu diesem Zweck wurden ihre Ergebnisse sowohl untereinander als auch mit denen des menschlichen Auges verglichen. Sie sollen hier zunächst vorgestellt werden:

#### 1. Minimaldistanzverfahren der Gradienten

Für sämtliche nicht am äußeren Rand der betrachteten Feldverteilung bzw. des verwendeten Kartenausschnittes gelegenen Gitterpunkte werden zunächst die Gradienten sowohl für das aktuelle Feld als auch für alle historischen Felder berechnet. Grundlage hierfür sind die Funktionswerte  $f$  möglichst unmittelbar benachbarter

Gitterpunkte entlang des selben Breiten- bzw. Längenkreis. Für den vektoriellen Gradienten des Parameters  $f$  am Gitterpunkt  $P(\lambda, \varphi)$  gilt also:

$$\bar{\nabla}_f(P) = \left( \begin{array}{c} \frac{f(\lambda_2, \varphi) - f(\lambda_1, \varphi)}{\Delta \lambda} \cdot \frac{36000}{\cos \varphi U_{\bar{A}}} \\ \frac{f(\lambda, \varphi_2) - f(\lambda, \varphi_1)}{\Delta \varphi} \cdot 0,89982 \end{array} \right) \quad (8.1)$$

mit  $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$  und  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$ .

Hierin ist  $\lambda$  die geographische Länge,  $\varphi$  die Breite und  $U_{\bar{A}}$  der Äquatorumfang. Nach Gleichung 8.1 wird der Gradient stets pro 100km bestimmt, so daß x- und y-Komponente gleichberechtigt sind. Die angegebene Form sollte jedoch nur im hier vorliegenden Spezialfall  $\varphi_2 - \varphi = \lambda_2 - \lambda = \frac{1}{2} \Delta \varphi = \frac{1}{2} \Delta \lambda$  verwendet werden. Sind die umgebenden Gitterpunkte unterschiedlich weit vom Zielpunkt  $P$  entfernt, so ist Gleichung 8.1 zu modifizieren, da es andernfalls zu uneinheitlicher Gewichtung der umliegenden Werte käme.

Durch Subtraktion der historischen Gradienten von denen der aktuellen Feldverteilung wird nun die vektorielle Differenz an jedem Gitterpunkt ermittelt. Die Distanz  $D_{hisx}$  eines bestimmten historischen Feldes ergibt sich dann durch Summation der Beträge dieser Differenzen:

$$D_{hisx} = \sum_{i=1}^{N^*} \left| \bar{\nabla}_f(P_i)_{akt} - \bar{\nabla}_f(P_i)_{hisx} \right|. \quad (8.2)$$

Hierin ist  $N^*$  die Anzahl der zu verwendenden Gitterpunkte, d.h. die Anzahl der nicht am Rand gelegenen Punkte. Daher ähnelt ein historisches Feld demjenigen der Gegenwart um so mehr, desto kleiner  $D$  ausfällt.

## 2. MSE

Dieses Auswahlkriterium basiert einzig auf der mittleren quadratischen Abweichung zwischen den Funktionswerten des Parameters  $f$  an den  $N$  Gitterpunkten. In Analogie zu Gleichung 5.3 gilt:

$$MSE_{hisx} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [f(P_i)_{akt} - f(P_i)_{hisx}]. \quad (8.3)$$

Auch hier setzt sich das Kollektiv der analogen Fälle aus denjenigen Fällen des historischen Archivs zusammen, deren MSE zu den kleinsten zählt.

### 3. Anomalie-Korrelation

Reagiert der MSE insbesondere auf die absoluten Werte der Differenzen zweier Felder mit hoher Sensibilität, so ist die sogenannte Anomalie-Korrelation (AK) eher in der Lage, übereinstimmende Strukturen der betrachteten Feldverteilungen zu erkennen. Dabei ist sie verhältnismäßig unempfindlich gegenüber abweichenden Amplituden (Wilks, 1995). MSE und AK betonen daher gegensätzliche Aspekte bei der Suche nach analogen Fällen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Auswahlkriterien führt die AK den Vergleich unter Bezug auf die klimatologischen Mittelwerte an den einzelnen Gitterpunkten durch. Es gilt:

$$AK_{hisx} = \frac{\sum_{i=1}^N \{ [f(P_i)_{akt} - \bar{f}(P_i)] [f(P_i)_{hisx} - \bar{f}(P_i)] \}}{\left\{ \sum_{i=1}^N [f(P_i)_{akt} - \bar{f}(P_i)]^2 \sum_{i=1}^N [f(P_i)_{hisx} - \bar{f}(P_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}. \quad (8.4)$$

Allgemein sind die Mittelwerte des Parameters  $f$  an den  $N$  Gitterpunkten durch  $n$  beliebige Beobachtungen gegeben. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde  $n = 90$ , d.h. der gesamte zur Verfügung stehende Datensatz, verwendet.

Da insbesondere die sinnvolle Berechnung der Gradienten einer Feldverteilung die Vollständigkeit der Daten des Gitternetzes voraussetzt, konnte der Test der Algorithmen lediglich an Hand des Gebietes zwischen  $35$  und  $70^\circ$  Nord sowie  $80^\circ$  West und  $25^\circ$  Ost durchgeführt werden (vergl. Kapitel 2). Der Vergleich mit dem menschlichen Auge wurde durch die Verwendung der *Berliner Wetterkarte* realisiert. Da sie erst mit dem Jahre 1961 zur Verfügung steht, mußte der Testzeitraum auf die Jahre 1961 bis 1998 begrenzt werden.

Willkürlich wurden nun drei Feldverteilungen des mittleren monatlichen Bodendrucks zu „aktuellen Fällen“ bestimmt. Zu jedem einzelnen wurden die Kollektive der analogen Fälle mittels Minimaldistanzverfahren der Gradienten, mittels MSE, mittels AK sowie per meteorologisch geschulten Blickes unabhängig voneinander bestimmt. Der Umfang der Kollektive wurde dabei der reduzierten Größe des historischen Archivs angepaßt. Statt 15 wurden an dieser Stelle nur je sechs Analoga ermittelt.

Tabelle 8.1 zeigt die resultierenden Kollektive der analogen Fälle für die „aktuellen Feldverteilungen“ Dezember 1961, Januar 1996 und Juni 1984. Aufgeführt sind jeweils die Jahreszahlen der Monate, welche dem jeweiligen Kollektiv angehören. Sie reichen aus, da stets nur im gleichen Kalendermonat nach ähnlichen Feldverteilungen gesucht wurde. Bei den Analoga des Dezembers 1961 handelt es sich daher ausschließlich um Dezembermonate, bei jenen des Januar 1996 um Januarmonate etc., d.h. die historischen Archive umfaßten jeweils 37 Fälle. Diese Vorgehensweise wurde im Rahmen der gesamten Untersuchungen zu den Analogverfahren beibehalten. Eine Ausweitung der historischen Archive z.B. um die Nachbarmonate wurde zwar erwogen, jedoch wieder verworfen. Es bestand die Befürchtung, daß schon geringfügige jahreszeitliche Abweichungen dazu führen könnten, daß sich ursprünglich ähnelnde atmosphärische Zustände unterschiedlich entwickeln, obwohl diese Voraussetzung bei gleichem  $t_0$  erfüllt wäre.

Die Analoga sind in der jeweiligen Reihenfolge ihrer Auswahl aufgeführt, d.h. der vermeintlich ähnlichste Fall steht zuoberst. Die Kennzeichnung durch ein (+), (o) bzw. (-) gibt Auskunft darüber, wie gut die jeweilige Übereinstimmung mit dem Basisfeld nach Einschätzung des Meteorologen ist. Große Ähnlichkeit wird durch ein (+), bedingte Ähnlichkeit durch ein (o) und keine Ähnlichkeit durch ein (-) symbolisiert.

| <b>„aktueller Fall“</b> | <b>Meteorologe</b> | <b>Gradient</b> | <b>MSE</b> | <b>AK</b> |
|-------------------------|--------------------|-----------------|------------|-----------|
| <b>Dezember 1961</b>    | 1987+              | 1989+           | 1987+      | 1968+     |
|                         | 1995+              | 1968+           | 1968+      | 1995+     |
|                         | 1968+              | 1987+           | 1995+      | 1987+     |
|                         | 1996+              | 1995+           | 1981o      | 1978o     |
|                         | 1989+              | 1976-           | 1978o      | 1981o     |
|                         | 1963+              | 1981o           | 1976-      | 1996+     |
| <b>Januar 1996</b>      | 1972+              | 1972+           | 1972+      | 1972+     |
|                         | 1966+              | 1970+           | 1980o      | 1970+     |
|                         | 1970+              | 1998-           | 1970+      | 1987o     |
|                         | 1980o              | 1967-           | 1997o      | 1980o     |
|                         | 1961o              | 1980o           | 1982-      | 1966+     |
|                         | 1997o              | 1988o           | 1987o      | 1963o     |
| <b>Juni 1984</b>        | 1978+              | 1981+           | 1977+      | 1977+     |
|                         | 1990+              | 1974+           | 1980+      | 1971+     |
|                         | 1985+              | 1983-           | 1985+      | 1978+     |
|                         | 1977+              | 1977+           | 1975o      | 1975o     |
|                         | 1971+              | 1985+           | 1989-      | 1980+     |
|                         | 1974+              | 1975o           | 1978+      | 1985+     |

**Tabelle 8.1:** Zusammensetzung der Kollektive analoger Fälle auf der Basis unterschiedlicher Auswahlkriterien im Vergleich zur Auswahl des Meteorologen für drei willkürlich ausgewählte „aktuelle“ Feldverteilungen (linke Spalte) des Bodendrucks. Dabei sind gute Ähnlichkeiten zum Basisfeld mit einem (+), bedingte Ähnlichkeiten mit einem (o) und keine Ähnlichkeiten mit einem (-) gekennzeichnet.

Grundsätzlich läßt sich feststellen, daß alle drei Algorithmen gut dafür geeignet sind, Ähnlichkeiten meteorologischer Feldverteilungen aufzudecken. Dabei erwies sich die Anomalie-Korrelation aus Sicht des Meteorologen als leicht überlegen. Insgesamt 12 Mitglieder ihrer Kollektive analoger Fälle sind identisch mit denen des Meteorologen. Das Minimaldistanzverfahren der Gradienten sowie der MSE erreichen je nur 10 Übereinstimmungen. Da aber davon auszugehen ist, daß das menschliche Auge strukturellen Ähnlichkeiten die größte Bedeutung beimißt, ist der geringe Vorteil der AK zu relativieren. Es wurde daher beschlossen, jedes dieser Auswahlkriterien im Verlaufe der Untersuchungen mindestens einmal zu verwenden.

Hinsichtlich der Stärke des Kollektivs der analogen Fälle ist festzustellen, daß eine Verringerung der Mitgliederzahl zumindest in einigen Fällen möglicherweise von Vorteil wäre. Im Falle des Januar 1996 befindet das menschliche Auge lediglich drei der 37 Mitglieder des Archivs tatsächlich für analog. Da auch bei allen drei Auswahlkriterien je zwei dieser Fälle zu den dreien mit den größten Übereinstimmungen zählen, würde durch eine verringerte Anzahl analoger Fälle erreicht, daß weniger Fälle mit nur bedingter bzw. keiner Ähnlichkeit zum Basisfeld dem Kollektiv angehörten. Einige Ausreißer, d.h. Fälle, die nach meteorologischem Ermessen nicht als Analoga zu bezeichnen sind, ließen sich jedoch auch so nicht

vermeiden. Aufgrund der Ergebnisse des Dezembers 1961 und des Junis 1984 erscheint die Festsetzung des Kollektivumfangs auf ein Sechstel des historischen Archivs in der Mehrzahl der Fälle aber als angemessen. Sie hat vermutlich keine wesentliche Verschlechterung der Prognosengüte zur Folge.

## 8.2 Analoge Fälle und Regression (*AFREG*)

### 8.2.1 Methodik und Vorgehensweise

Das ursprünglich ersonnene Testverfahren ist einem aus der Mittelfristprognose stammenden Verfahren nachempfunden, welches analoge Technik und Regression miteinander verknüpft und daher als *AFREG* bezeichnet wird (analoge Fälle und Regression; siehe *Balzer*, 1995). In einem ersten Schritt werden die 15 der aktuellen Zirkulation ähnlichsten Feldverteilungen des Bodenluftdrucks aus dem 90 Jahre umfassenden historischen Datenarchiv herausgesucht (vergl. dazu auch Abschnitt 8.1). Als Analogiekriterium wurde das Minimaldistanzverfahren der Gradienten (vergl. ebenfalls Abschnitt 8.1) gewählt. In einem zweiten Schritt dienen nun die Druckdaten als potentielle Prediktoren für eine multiple Regressionsanalyse, deren Methodik exakt derer des 7. Kapitels entspricht. Um auch langfristige Entwicklungen der Atmosphäre zu berücksichtigen, wurden zusätzlich zu den Werten des aktuellen Monats, auf dessen Basis die analogen Fälle bestimmt wurden (Vormonat  $t_0$ ), noch die Bodendruckdaten der vorangegangenen vier Monate ( $t-1$  bis  $t-4$ ) mit verwendet. Als maximale Vorlaufzeit dieser Prognosen wurden auf Grund der Ergebnisse von *Dettmann* (2000) fünf Monate gewählt. Das bedeutet konkret, wenn z.B. eine Vorhersage auf der Basis der monatlichen Druckmittel von Oktober gemacht wird, so werden zunächst die analogen Jahre auf Grund des Vergleichs der aktuellen Feldverteilung (des Oktobers) mit denen des Archivs bestimmt. Der Pool der potentiellen Prediktoren wird jedoch zusätzlich noch um die Werte des Bodendrucks der Monate September bis einschließlich Juni ergänzt. Die Prediktanden der Regressionen sind die Monatsmitteltemperaturen der kommenden fünf Monate November bis März. Dabei werden die Regressionen für jeden Monat einzeln und unabhängig voneinander bestimmt.

Neben den Regressionen wurden Prognosen auch allein an Hand der analogen Fälle erstellt. Sie werden mit den Vorhersagen der Regressionsmodelle verglichen, um festzustellen, ob der rechnerische Mehraufwand überhaupt gerechtfertigt ist. Die Vorhersage des Kollektivs ergibt sich dabei durch einfache Mittelung der bei den analogen Fällen eingetroffenen Werte des Prediktanden.

Wie bei allen getesteten Analogverfahren wurde die Vorhersageleistung an unabhängigen Daten mittels U-Methode abgeschätzt (vergl. Abschnitt 4.1). Dabei fungierte jeweils ein Jahr als künstlich aktueller Fall, die übrigen als „historisches Archiv“, d.h. es handelt sich um „hindcasts“. Hierdurch wurde für die Regressionsmodelle gewissermaßen eine „double Cross-Validation“ durchgeführt, da sich Entwicklungskollektiv (die 15 analogen Fälle) und Verifikationskollektiv (das „aktuelle“ Jahr) nicht überschneiden. Da die Zusammensetzung der einzelnen Entwicklungskollektive jedoch von der jeweiligen Zirkulation des zu verifizierenden Jahres abhängig, d.h. nach Voraussetzung voneinander verschieden ist, ist das Kriterium der Regularität bei der Beurteilung nicht mit heranzuziehen. Schließlich ist es vorstellbar, daß das optimale Prediktorenkollektiv vom Zirkulationstyp abhängig ist. Dies betrifft auch die Anzahl der verwendeten Prediktoren, die ebenfalls variabel sein kann.

Wie alle Untersuchungen, bei denen das Minimaldistanzverfahren der Gradienten verwendet wurde, beschränkt sich auch das *AFREG*-Verfahren auf das Gebiet zwischen 35° und 70° Nord sowie 80° West und 25° Ost. Dieses nordatlantische Fenster umfaßt exakt denjenigen Teil der Nordhalbkugel, in dessen Bereich die meisten Druckgebilde entstehen, die Berlin innerhalb der Westwindströmung erreichen. Daher erschien der Versuch lohnend, Langfristprognosen allein an Hand der Daten dieser Region zu erstellen. Da die Daten in Abständen von 5° vorliegen, handelt es sich insgesamt um 176 Gitterpunkte. Die Zahl der potentiellen Prediktoren beläuft sich somit auf 880 (5 Monate à 176 Gitterpunkte). Die zur Vermeidung von Redundanzen eingeführte Zwischenstufe (vergl. Abschnitt 7.3) sorgt zwar dafür, daß diese enorme Anzahl stückweise reduziert wird, jedoch bleibt das äußerst ungünstige Verhältnis zwischen der Anzahl der potentiellen Prediktoren und der Objektanzahl bestehen. Um die Methode testen zu können, muß dies jedoch in Kauf genommen werden.

An dieser Stelle ist noch darauf hinzuweisen, daß eine Trendbereinigung zum Zeitpunkt dieser Untersuchung noch nicht vorgenommen wurde. Dies gilt für alle Verfahren, bei denen das nordatlantische Fenster zum Einsatz gekommen ist. Im Rahmen ihrer Auswertung ist daher zu beachten, daß es sich möglicherweise um zu optimistische Schätzungen der Vorhersageleistung handelt. Ein leichter Einbruch am vollständig unabhängigen Kollektiv ist sicherheitshalber einzuplanen.

## 8.2.2 Ergebnisse

Wie sich der Tabelle 8.2 eindeutig entnehmen läßt, hat sich das hier entwickelte *AFREG*-Modell zur langfristigen Temperaturprognose als äußerst instabil erwiesen. Die ermittelten RV-Werte der vollständigen Modelle liegen nicht nur ohne Ausnahme im negativen Bereich, sie überschreiten zusätzlich die Signifikanzschanke des „F-Tests“ zum Vergleich der Varianzen zweier Stichproben. Für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% liegt diese bei ca. -0,40 und wird lediglich von der 1-Monats-Prognose des Novembers knapp verfehlt. Es ist also statistisch gesichert, daß das Verfahren stets eine Verschlechterung der Vorhersagegüte im Vergleich zur Klimaprognose mit sich bringt.

| $t_0$     | t+1   | t+2   | t+3   | t+4   | t+5   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Januar    | -0,60 | -0,77 | -0,79 | -1,03 | -0,52 |
| Februar   | -0,69 | -1,07 | -1,62 | -0,58 | -0,71 |
| März      | -1,40 | -1,22 | -0,75 | -1,16 | -0,55 |
| April     | -0,76 | -1,01 | -0,52 | -0,55 | -1,03 |
| Mai       | -0,54 | -0,94 | -0,80 | -0,75 | -0,38 |
| Juni      | -1,11 | -0,73 | -1,14 | -0,95 | -1,03 |
| Juli      | -0,54 | -0,92 | -0,94 | -1,11 | -0,82 |
| August    | -0,73 | -0,99 | -1,26 | -0,71 | -0,80 |
| September | -1,08 | -0,83 | -1,06 | -2,37 | -1,32 |
| Oktober   | -0,34 | -1,09 | -0,80 | -0,91 | -0,92 |
| November  | -0,81 | -1,39 | -1,22 | -0,75 | -0,80 |
| Dezember  | -0,93 | -1,35 | -1,19 | -1,27 | -1,22 |

**Tabelle 8.2:** RV-Werte der an Hand des vollständigen *AFREG*-Modells (analoge Fälle und Regression) ermittelten Temperaturprognosen in Abhängigkeit von Vorlaufzeit und Basismonat  $t_0$  für den Zeitraum 1909-1998. Die Werte wurden per Cross-Validation (U-Methode) bestimmt.

Die Deutlichkeit der Ergebnisse ist dabei sehr wahrscheinlich auf das ungünstige Verhältnis zwischen der Objektanzahl und der Anzahl der potentiellen Prediktoren zurückzuführen. Offenbar ist es dadurch trotz der Vorsichtsmaßnahmen bei der Entwicklung der Regressionsmodelle zu einem extremen Overfitting gekommen. Indiz dafür ist die Anzahl der verwendeten Prediktoren. In der Regel beruhen die Vorhersagen der künstlichen Verifikationskollektive (Einzeljahre) auf den Bodendruckwerten an ein bis sechs Gitterpunkten. Bei einigen Kombinationen von Vor- und Zielmonat wurden in Einzelfällen sogar noch mehr Prediktoren selektiert. Da der Umfang der Entwicklungskollektive nicht entscheidend vergrößert werden kann (vergl. Abschnitt 8.1), muß geschlußfolgert werden, daß die Methodik zur Langfristprognose ungeeignet ist.

| $t_0$     | t+1         | t+2   | t+3         | t+4   | t+5         |
|-----------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| Januar    | <b>0,09</b> | -0,06 | <b>0,05</b> | -0,09 | -0,05       |
| Februar   | <b>0,05</b> | -0,05 | -0,03       | -0,05 | -0,07       |
| März      | -0,09       | -0,12 | -0,11       | -0,13 | -0,02       |
| April     | -0,06       | -0,10 | -0,07       | -0,04 | -0,07       |
| Mai       | -0,04       | -0,01 | -0,09       | -0,08 | -0,10       |
| Juni      | -0,12       | -0,02 | -0,06       | -0,07 | -0,09       |
| Juli      | <b>0,10</b> | -0,05 | -0,08       | -0,15 | -0,02       |
| August    | -0,06       | -0,11 | -0,09       | -0,11 | -0,10       |
| September | -0,07       | -0,08 | -0,08       | -0,13 | -0,18       |
| Oktober   | <b>0,11</b> | -0,15 | -0,01       | -0,01 | <b>0,01</b> |
| November  | -0,01       | -0,01 | -0,08       | -0,07 | -0,04       |
| Dezember  | -0,09       | -0,11 | -0,18       | -0,06 | -0,14       |

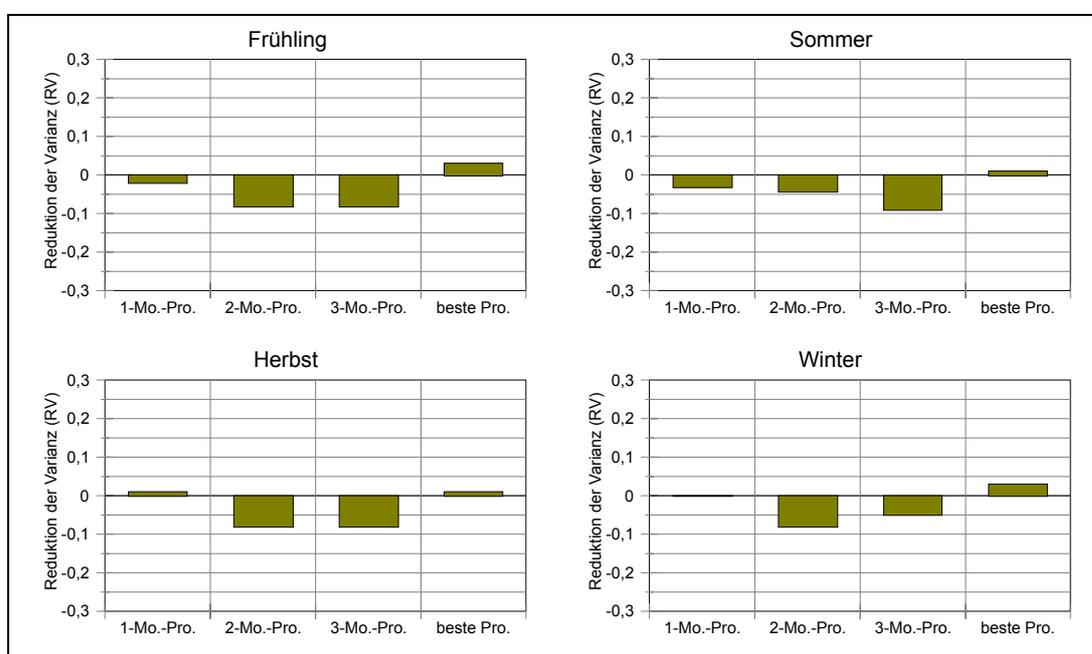
**Tabelle 8.3:** RV-Werte der allein an Hand der analogen Fälle ermittelten Temperaturprognosen in Abhängigkeit von Vorlaufzeit und Basismonat  $t_0$  für den Zeitraum 1909-1998. Die Werte wurden per Cross-Validation (U-Methode) bestimmt. Positive Vorhersageleistung ist durch Fettdruck besonders hervorgehoben.

Wesentlich bessere, wenngleich nach wie vor unbefriedigende Ergebnisse können durch die alleinige Verwendung der analogen Fälle erzielt werden. Die RV-Werte, die sich bei Vorhersage der durch Mittelung der in den analogen Jahren eingetretenen Temperaturen ergeben, sind in Tabelle 8.3 aufgeführt. Zumindest im Falle der 1-Monats-Prognose ist zu vermuten, daß für bestimmte Monate eine reale Reduktion der Varianz von maximal 10% auch am vollständig unabhängigen Kollektiv erzielt werden kann. Eine Signifikanz des RV-Wertes ist jedoch bei keiner Monatskombination gegeben.

Was dieses einfachste Analogverfahren im dauerhaften operationellen Betrieb in etwa zu leisten vermag, ist in Abbildung 8.1 graphisch dargestellt. Sie zeigt die RV-Werte der 1- bis 3-Monats-Prognosen sowie der „besten“ Prognose für die einzelnen Jahreszeiten. Hierzu ist anzumerken, daß die Abschätzung der Vorhersageleistung der „besten“ Prognose vermutlich zu optimistisch ist. Im Falle der multiplen linearen Regression wurde an Hand des Entwicklungskollektivs ermittelt, bei welcher Vorlaufzeit die jeweils besten Vorhersagen möglich sind. Am unabhängigen Examinationskollektiv wurde dann deren Abschneiden unter Verwendung dieser eindeutigen Zuordnung ermittelt (vergl. Kapitel 7). Hier erfolgten Bestimmung der Zuordnung und Abschätzung der daraus resultierenden Prognosengüte hingegen am selben Datensatz, wodurch die Unabhängigkeit nicht mehr gegeben ist. Es stehen stets fünf Prognosen (t+1 bis t+5) zur Auswahl, d.h. es handelt sich um ein Problem, das mit der „multiplicity“ (siehe dazu Abschnitt 4.1) vergleichbar ist. Daher ist es möglich, daß

zumindest z.T. die nur zufällig beste Prognose verwendet wird. Die Cross-Validation kann nämlich nicht davor schützen, daß die Rangfolge der 1- bis 5-Monatsprognosen der einzelnen Zielmonate bei vollständig unabhängigen Daten verändert wäre. In der Praxis stellt sich bei derartigen Konstellationen immer eine gewisse Verschlechterung der Vorhersageleistung ein. Für die 1-, 2- bzw. 3-Monats-Prognosen gilt dies natürlich nicht, da hier die Zuordnung schon per Definition eindeutig ist.

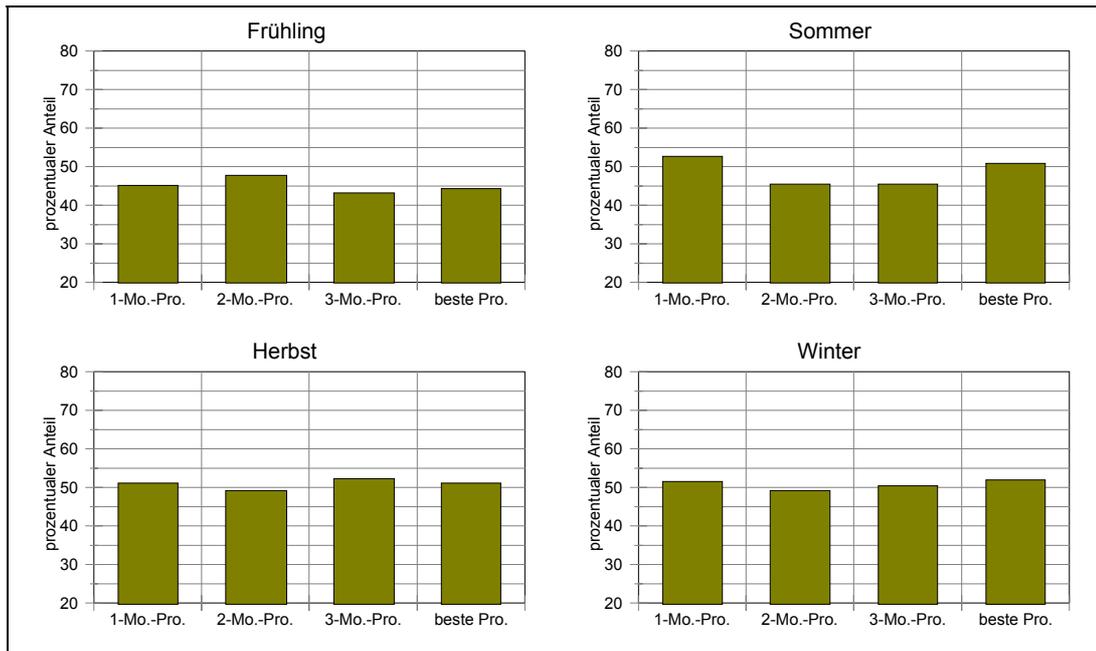
Berücksichtigt man diese Tatsache, so bleibt unter dem Strich festzuhalten, daß auch die alleinige Verwendung der analogen Fälle zu keiner Jahreszeit eine Verbesserung gegenüber der Klimavorhersage mit sich bringt. Selbst die 1-Monats-Prognose kommt nicht über einen RV-Wert von 0,01 im Herbst hinaus. Dieses Ergebnis überrascht ob mehrerer 1-Monats-Prognosen mit positiven RV-Werten im Jahresverlauf zunächst. Betrachtet man Tabelle 8.3 jedoch genauer, so stellt sich heraus, daß die betreffenden vier Fälle gleichmäßig auf die Jahreszeiten verteilt sind. Ihre Vorhersageleistung wird jeweils durch die negativen RV-Werte der anderen zwei Prognosen kompensiert.



**Abbildung 8.1:** Mittels Cross-Validation (U-Methode) bestimmte RV-Werte der ausschließlich durch Verwendung der analogen Fälle ermittelten Temperaturprognosen für unterschiedliche Jahres- und Vorlaufzeiten.

Für potentielle Verbraucher ist neben der reinen Vorhersageleistung auch von Interesse, wieviel Prozent der Vorhersagen innerhalb fester Fehlergrenzen liegen, d.h. wie oft mit einer „korrekten“ Prognose zu rechnen ist. Wie groß der noch zu tolerierende Fehler ist, unterscheidet sich dabei naturgemäß von Kunde zu Kunde. Um dennoch Aussagen von möglichst allgemeinem Interesse machen zu können, wurde hier ein Intervall von  $0,674\sigma$  gewählt. Gemäß der Quantile der Normalverteilung fallen 50% aller Klimaprognosen in diesen Bereich. Ein einheitliches Temperaturintervall konnte aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht verwendet werden, da die einzelnen Jahreszeiten zu unterschiedliche Standardabweichungen aufweisen. Im hier verwendeten Zeitraum 1909-1998 ergaben sich somit für das Fehlerintervall Werte von ca.  $1,2^{\circ}\text{C}$  im Frühling, von ca.  $1,0^{\circ}\text{C}$  im Sommer und Herbst sowie von ca.  $1,9^{\circ}\text{C}$  im Winter.

Wie Abbildung 8.2 zeigt, liegt der Anteil der Vorhersagen, welche die oben genannten Fehlergrenzen nicht überschreiten, in einem Bereich zwischen 43% und 53%. Modell und Klimaprognose sind also im wesentlichen als äquivalent anzusehen. Wie schon zuvor hebt sich die 1-Monats-Prognose leicht ab. Ausgenommen im Frühling übertrifft sie die 50%-Marke, d.h. mehr als die Hälfte aller Vorhersagen liegen innerhalb des 0,674fachen Standardfehlers. Ob dieser geringe Vorteil gegenüber der Referenzprognose von praktischem Wert sein kann, ist durch gesonderte Untersuchungen zu klären.



**Abbildung 8.2:** Mittels Cross-Validation (U-Methode) bestimmter prozentualer Anteil der ausschließlich durch Verwendung der analogen Fälle ermittelten Temperaturprognosen, deren Prognosefehler im Bereich 0,674 Standardabweichungen liegt. Je nach Jahreszeit entspricht das einer Abweichung von ca. 1°-2°C (siehe Text).

## 8.3 Ensemble-Modell

### 8.3.1 Methodik und Vorgehensweise

Das zweite getestete Analogverfahren läßt sich als eine Art Ensemble-Methode bezeichnen. Ziel war es, ein möglichst umfangreiches Kollektiv an historischen Analogien zu erschaffen. Zu diesem Zweck wurden nicht nur die 15 ähnlichsten Fälle zum aktuellen Monat ( $t_0$ ), sondern auch die 4 mal 15 analogen Fälle der 4 unmittelbaren Vormonate (analog zur Bereitstellung der Prediktoren beim *AFREG*-Modell  $t-1$  bis  $t-4$ ) dem Kollektiv beigefügt, um auch hier die zahlreichen unterschiedlichen Entwicklungsmöglichkeiten der Atmosphäre komplett zu erfassen. Angestrebt wurde dabei natürlich nicht, daß das Kollektiv die rechnerisch maximal möglichen 75 analogen Jahre umfaßt, sondern, daß es durch mehrfaches Auswählen der selben Jahre in den einzelnen Vormonaten automatisch auf ein sinnvolles Maß reduziert wird. Um denjenigen Jahren, deren atmosphärische Zirkulation in mehreren Fällen zu den

Analoga gehört, ein größeres Gewicht zu verleihen, basiert die Vorhersage aber dennoch stets auf 75 Werten, von denen somit einige mehrfach vertreten sind. Auf diese Weise kommt einer übereinstimmenden Entwicklung auch eine besondere Bedeutung zu. Neben der schon im ersten Schritt verwendeten Methodik, bei welcher der Mittelwert des Kollektivs die Vorhersage darstellt, wurde zusätzlich noch eine Prognose durch den Median der Kollektive mit untersucht.

Die Vorgehensweise entspricht jener des *AFREG*-Ansatzes, d.h. die Bestimmung der analogen Fälle basiert auf den Bodendruckdaten eines nordatlantischen Fensters, als Auswahlkriterium wurde das Minimaldistanzverfahren der Gradienten benutzt, die Prognosengüte wurde mittels U-Methode abgeschätzt und als maximale Vorlaufzeit wurden fünf Monate gewählt (siehe Abschnitt 8.2.1).

### **8.3.2 Ergebnisse**

Auf eine explizite Darstellung der Resultate kann an dieser Stelle verzichtet werden. Es stellte sich nämlich heraus, daß die Kollektive der analogen Fälle zwar wie erwartet durch Mehrfachwahl reduziert werden, jedoch im Durchschnitt nur auf etwa 50 analoge Jahre. Da die Kollektive demnach über die Hälfte des gesamten zur Verfügung stehenden Datenarchivs umfassen, ergaben sich bei den Testläufen fast ausschließlich Prognosen um den Klimamittelwert des jeweiligen Kalendermonats. Dies gilt sowohl für den Median als auch für das arithmetische Mittel. Dementsprechend liegen die RV-Werte sämtlich um Null.

## **8.4 „Mehrfach-Analog-Modell“**

### **8.4.1 Methodik und Vorgehensweise**

Um das Kollektiv wieder zu reduzieren, wurde das Ensemble-Modell leicht abgeändert. Statt alle als analoge Fälle in Erscheinung tretenden Jahre (unabhängig davon, ob nur in einem oder in mehreren Vormonaten) in das Kollektiv aufzunehmen, wurde das Kollektiv nun auf diejenigen Jahre beschränkt, bei denen eine Mehrfachwahl auftritt. Als Schranke wurden drei der fünf Vormonate gewählt, wobei diese jedoch nicht unmittelbar aufeinanderfolgend auftreten müssen. Meteorologisch gesehen spielte dabei der Gedanke eine Rolle, daß bei jenen Jahren schon die vergangenen Monate gezeigt haben, daß sich die atmosphärische Zirkulation analog dem aktuellen Geschehen entwickelt hat und daß daher der Schluß, dies setze sich in näherer Zukunft fort, besonders naheliegend sei. Im Gegensatz zum Ensemble-Modell wurden die einzelnen dem Kollektiv der analogen Fälle angehörenden Jahre gleichgewichtet berücksichtigt, d.h. sämtliche Analogjahre gehen nur einmal in die Vorhersage ein. Auf Grund der dadurch zu erwartenden drastischen Reduzierung der Kollektive konnten keine Prognosen auf der Basis des Medians mehr berechnet werden, so daß ausschließlich der Mittelwert verwendet wurde. Gehörten die Feldverteilungen des Bodendrucks bei keinem dem historischen Archiv angehörigen Jahr mindestens dreimal zu den 15 ähnlichsten Fällen, so wurde der Klimamittelwert vorhergesagt.

Die im Rahmen dieses als „Mehrfach-Analog-Modell (MAM)“ bezeichneten Ansatzes verwendeten Daten, das Untersuchungsgebiet sowie die Verfahrensweise (Auswahlkriterium, U-Methode, maximale Vorlaufzeit) wurden im Vergleich zum *AFREG*-Modell erneut vollständig unverändert belassen (siehe Abschnitt 8.2.1).

## 8.4.2 Ergebnisse

Wie sich zeigte, umfassen die Kollektive der analogen Fälle in der Regel zwischen ein und sechs Jahre. In einzelnen Fällen liegt die Zahl auch darüber, wobei maximal neun Analogjahre erreicht werden. Selten kommt es auch vor, daß überhaupt kein Archivjahr vorhanden ist, dessen Vorzirkulationen in mindestens drei Fällen zu den 15 ähnlichsten gehört. Je nach Vormonat  $t_0$  schwankt diese Zahl zwischen null und drei Jahren. Grundsätzlich läßt sich daher feststellen, daß das Modell fast immer eine aus meteorologischer Sicht vernünftige Anzahl analoger Fälle zur Erstellung der Prognosen verwendet. Da der Vergleich mehrerer Auswahlkriterien mit dem menschlichen Auge ergeben hat, daß die verwendeten Algorithmen gut geeignet sind, Ähnlichkeiten aufzuspüren (vergl. Abschnitt 8.1), kann zusätzlich davon ausgegangen werden, daß es sich um reale Analogien handelt.

Um so überraschender ist das durchweg schlechte Abschneiden des Verfahrens, das in Tabelle 8.4 dargestellt ist. Sämtliche Prognosen erzielen negative RV-Werte, viele schneiden gar statistisch signifikant schlechter ab als die Klimavorhersage (die 5%ige Signifikanzschranke liegt bei ca.  $-0,40$ ; vergl. Abschnitt 8.2.2). Bei der einzigen Ausnahme, der 4-Monats-Prognose des August ( $t_0$  ist der April), handelt es sich mit höchster Wahrscheinlichkeit lediglich um einen zufälligen Ausreißer. Die Methode ist somit ebenfalls ungeeignet, langfristige Temperaturprognosen erfolgreich zu erstellen.

| $t_0$     | t+1   | t+2   | t+3   | t+4         | t+5   |
|-----------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Januar    | -0,60 | -0,06 | -0,42 | -0,19       | -0,22 |
| Februar   | -0,14 | -0,37 | -0,24 | -0,12       | -0,21 |
| März      | -0,24 | -0,67 | -0,13 | -0,31       | -0,22 |
| April     | -0,54 | -0,48 | -0,24 | <b>0,07</b> | -0,40 |
| Mai       | -0,27 | -0,29 | -0,10 | -0,07       | -0,11 |
| Juni      | -0,01 | -0,28 | -0,28 | -0,32       | -0,50 |
| Juli      | -0,19 | -0,26 | -0,14 | -0,25       | -0,38 |
| August    | -0,20 | -0,37 | -0,38 | -0,53       | -0,19 |
| September | -0,23 | -0,37 | -0,22 | -0,17       | -0,31 |
| Oktober   | -0,09 | -0,44 | -0,11 | -0,25       | -0,35 |
| November  | -0,49 | -0,15 | -0,28 | -0,36       | -0,48 |
| Dezember  | -0,48 | -0,77 | -0,26 | -0,64       | -0,22 |

**Tabelle 8.4:** RV-Werte der durch das „Mehrfach-Analog-Modell“ ermittelten Temperaturprognosen in Abhängigkeit von Vorlaufzeit und Basismonat  $t_0$  für den Zeitraum 1909-1998. Die Werte wurden per Cross-Validation (U-Methode) bestimmt. Positive Vorhersageleistung ist durch Fettdruck besonders hervorgehoben.

## 8.5 „Vielfach-Analog-Modell“

### 8.5.1 Methodik und Vorgehensweise

Anlaß für die Erstellung eines letzten Verfahrens auf der Basis eines Kollektivs analoger Fälle waren die folgenden Überlegungen: Zunächst stellte sich die Frage, inwieweit eine Erweiterung des bisher benutzten Datenfensters - möglichst auf die gesamte Nordhalbkugel - eine positive Auswirkung hätte. Des weiteren findet sich in

der Literatur der Hinweis, daß Verfahren zur Bewertung der Übereinstimmung meteorologischer Felder, wie sie auch zur Prognosenprüfung verwendet werden, immer einen von zwei Aspekten begünstigen: entweder die Übereinstimmung der Strukturen (engl. pattern) oder jene der Amplituden der einzelnen Gitterpunkte (vergl. z.B. *Wilks*, 1995). Letztlich bestand die Hoffnung, daß im Vergleich zum „MAM“ leicht vergrößerte Kollektive analoger Fälle zu verlässlicheren Vorhersagen führen könnten. Hierdurch sollte verhindert werden, daß Prognosen, die nur auf sehr wenigen analogen Jahren basieren, wegen eines einzigen Ausreißers falsch werden können, d.h. die Stabilität der Schätzwerte des Kollektivs sollte erhöht werden.

Somit wurden konkret noch einmal folgende Änderungen vorgenommen: Das Minimaldistanzverfahren der Gradienten als Auswahlkriterium wurde durch den MSE und die Anomalie-Korrelation ersetzt, wobei beide Kriterien unabhängig voneinander betrachtet wurden. Das bedeutet, für jeden der 5 mit dem historischen Datenarchiv zu vergleichenden Vormonate ( $t_0, t-1, \dots, t-4$ ) wurden 2 mal 15 analoge Fälle bestimmt, so daß jedes Jahr der Vergangenheit in maximal 10 Fällen als Analogon ausgewählt werden konnte. Dem Kollektiv wurde das Jahr jedoch nur dann beigefügt, wenn es in einer vorab zu spezifizierenden Anzahl von Fällen zu den Analoga zählte. Dabei sollte der Schwellenwert so gewählt sein, daß die Kollektivgröße durchschnittlich zwischen der des *AFREG*- und jener des „MAMs“ liegt. Zur Umsetzung dieser Forderung wurde zunächst eine Art Sensibilitätsstudie durchgeführt (siehe Abschnitt 8.5.2). Grundsätzlich war es unerheblich, durch welchen Algorithmus die Auswahl zustande kam, auch jede mögliche Kombination beider war erlaubt. Dieses als „Vielfach-Analog-Modell (VAM)“ bezeichnete Verfahren hat also den Vorteil, daß es keinen Schwerpunkt bei der Beurteilung der Ähnlichkeiten setzt.

Eine weitere Neuerung im Rahmen der Untersuchungen zu den Analogverfahren stellt die Ausweitung des Datenfensters auf den gesamten Bereich nördlich von  $20^\circ$  N dar. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Lückenhaftigkeit des Datensatzes „ds010.1“ (vergl. Kapitel 2) dazu führt, daß nicht sämtlichen Regionen der Nordhalbkugel die gleiche Bedeutung bei der Bestimmung der analogen Fälle zukommt. Vielmehr kommt es dort, wo das Gitternetz am dichtesten ist, zu einer Überbetonung, da diese Gebiete von einer höheren Anzahl von Gitterpunkten repräsentiert werden als jene, wo Lücken vorhanden sind. Die Auswahlkriterien hingegen gewichteten alle eingehenden Punkte gleich. Dies kann u.U. dazu führen, daß an Hand der vollständigen Feldverteilungen des Bodendrucks andere Analoga ausgewählt worden wären als hier der Fall. Andererseits schwächt die Existenz atmosphärischer Moden (Telekonnektionen) diesen Effekt entscheidend ab, so daß davon ausgegangen werden kann, daß die Leistungsfähigkeit des Verfahrens im wesentlichen korrekt eingeschätzt werden konnte.

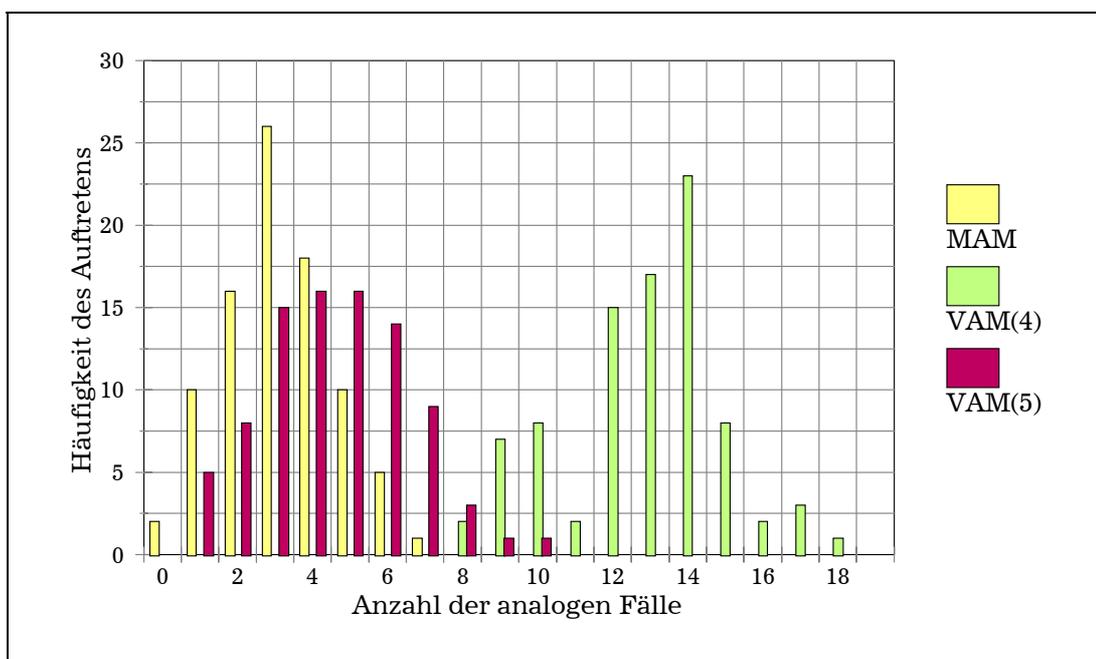
Schließlich wurde noch eine lineare Trendbereinigung sowohl der Prediktoren als auch der Prediktanden durchgeführt (siehe dazu auch Abschnitt 4.2). Die übrige Vorgehensweise wurde im Vergleich zum „MAM“ unverändert gelassen.

Trotz der Trendbereinigung ist auch im Falle des „VAMs“ eine zu optimistische Schätzung der Vorhersageleistung nicht auszuschließen. Grund hierfür ist die Abhängigkeit der AK von den vieljährigen klimatologischen Mittelwerten (siehe Gl. 8.4). Zur absolut korrekten Durchführung der Cross-Validation hätten diese Parameter für jedes künstlich geschaffene Verifikationskollektiv neu bestimmt werden müssen, und zwar unter Nichtberücksichtigung eben dieser Jahre (vergl. z.B. *Michaelsen*, 1987). Hier wurden die Klimamittelwerte hingegen nur einmal berechnet, wobei der gesamte Datensatz verwendet wurde. Somit liegen stets auch immer Informationen des zu verifizierenden Jahres zugrunde, wodurch dessen totale Unabhängigkeit verloren geht. In der Regel ist eine leichte Überschätzung der Vorhersagegüte die Folge, wie *Gruza*

und Rankova (1993) zeigten. Für den MSE gilt dies natürlich nicht, da derartige Differenzmaße direkt zwischen zwei Feldern ermittelt werden.

## 8.5.2 Ergebnisse

Zunächst galt es, den Schwellenwert (vergl. hierzu Abschnitt 8.5.1) derart festzulegen, daß die Anzahl der Mitglieder der Kollektive der analogen Fälle einerseits jene des „MAMs“ übersteigt, andererseits jedoch unter den 15 Fällen des *AFREG*-Modells verbleibt. Besonderes Augenmerk galt dabei der Vermeidung zu vieler sehr kleiner Kollektive, wie sie beim „MAM“ immer wieder zustande kamen. Um festzustellen, welcher Schwellenwert die bestmögliche Kollektivgröße zur Folge hat, wurde dieser variiert. Die Abbildungen 8.3 und 8.4 zeigen beispielhaft die Histogramme der Häufigkeitsverteilungen der Kollektivgrößen des „MAMs“ sowie des „VAMs“ für die Vormonate ( $t_0$ ) Januar und März. Dabei mußte ein Archivjahr im Falle des „VAMs“ einmal mindestens vierfach [„VAM(4)“] und einmal mindestens fünffach [„VAM(5)“] als eines der 15 Analoga ausgewählt werden, um dem Kollektiv beigelegt zu werden. Wie unschwer zu erkennen ist, erfüllt keiner der beiden getesteten Schwellenwerte die geforderten Kriterien uneingeschränkt. Während durch das „VAM(4)“ im Mittel ca. 13 analoge Jahre ausgewählt werden, sind es beim „VAM(5)“ ca. 5. D.h. entweder die Anzahl der Mitglieder liegt schon in der Nähe des *AFREG*-Modells oder noch vergleichsweise nahe beim „MAM“. Optimal wäre hingegen ein Modell gewesen, dessen Verteilung dazwischen gelegen hätte. Da das „VAM(5)“ die wichtigste Bedingung zur Revision des „MAM“, keine allzu geringen Kollektivgrößen, dennoch im wesentlichen zufriedenstellend erfüllt, wurde letztlich entschieden, hierauf zurückzugreifen. Im Falle des „VAM(4)“ bestand die Befürchtung, lediglich das *AFREG*-Modell zu duplizieren.



**Abbildung 8.3:** Histogramme der Häufigkeitsverteilungen der Kollektivgrößen (Anzahl der analogen Fälle) des „Mehrfach-Analog-Modells (MAM)“ sowie des „Vielfach-Analog-Modells“ mit unterschiedlichen Schwellenwerten [„VAM(4)“ und „VAM(5)“] für den Vormonat Januar.

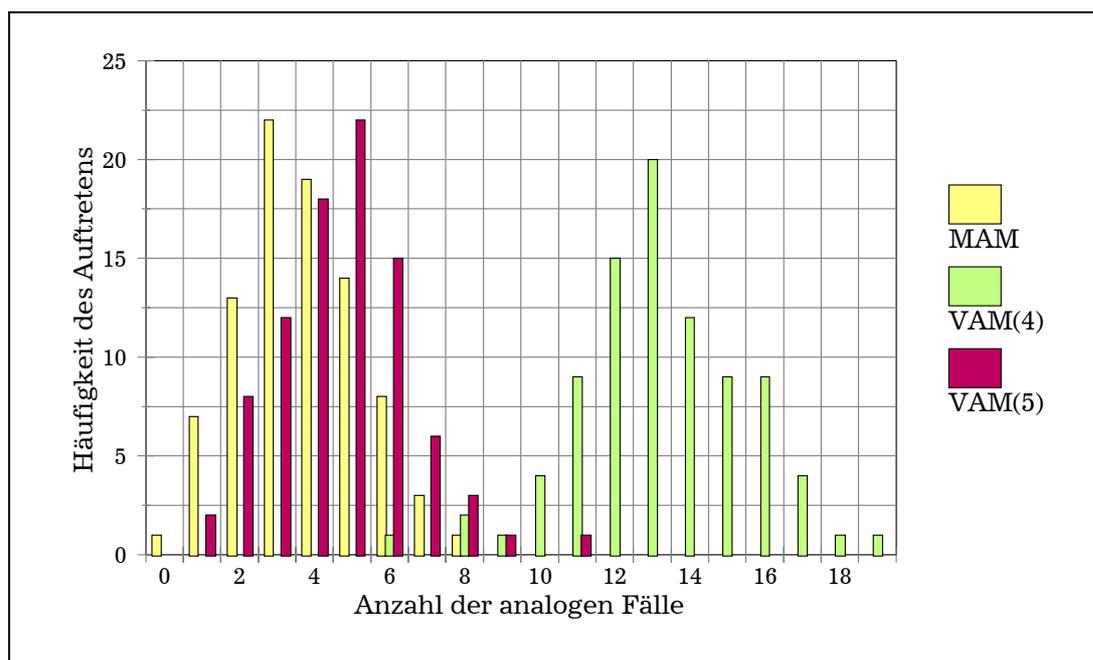


Abbildung 8.4: wie Abbildung 8.3, jedoch für den Vormonat März.

Wie die in Tabelle 8.5 aufgeführten RV-Werte beweisen, sind auch durch das „VAM(5)“ keine verlässlichen Vorhersagen zu erstellen. Zwar ist die Instabilität der Prognosen im Vergleich zum „MAM“ i.a. leicht abgeschwächt, positive RV-Werte werden jedoch nur für wenige Monatskombinationen erzielt. Berücksichtigt man zusätzlich die Tatsache, daß die Vorhersageleistung vermutlich leicht überschätzt wird (vergl. Abschnitt 8.5.1), so dürfte das Verfahren generell keine Verbesserung der Klimaprognose ermöglichen. Da die Anwendung der einfachen analogen Fälle des *AFREG*-Verfahrens fast ausschließlich gleichwertige oder bessere Ergebnisse verspricht, ist sie dem „VAM“ – wie allen getesteten Analogverfahren – vorzuziehen.

| $t_0$     | $t+1$       | $t+2$ | $t+3$       | $t+4$       | $t+5$ |
|-----------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|
| Januar    | -0,30       | -0,03 | -0,40       | -0,46       | -0,23 |
| Februar   | -0,09       | -0,22 | -0,33       | -0,30       | -0,38 |
| März      | -0,03       | -0,21 | -0,23       | -0,43       | -0,31 |
| April     | -0,30       | -0,10 | -0,17       | <b>0,02</b> | -0,15 |
| Mai       | -0,03       | -0,48 | <b>0,04</b> | -0,08       | -0,35 |
| Juni      | -0,15       | -0,01 | -0,19       | -0,32       | -0,57 |
| Juli      | <b>0,04</b> | -0,21 | -0,49       | -0,63       | -0,32 |
| August    | -0,44       | -0,52 | -0,72       | -0,14       | -0,47 |
| September | -0,41       | -0,57 | -0,17       | -0,59       | -0,19 |
| Oktober   | -0,50       | -0,38 | -0,02       | -0,22       | -0,05 |
| November  | -0,23       | -0,33 | -0,44       | <b>0,08</b> | -0,25 |
| Dezember  | -0,33       | -0,38 | <b>0,02</b> | -0,38       | -0,65 |

**Tabelle 8.5:** RV-Werte der durch das „Vielfach-Analog-Modell [VAM(5)]“ ermittelten Temperaturprognosen in Abhängigkeit von Vorlaufzeit und Basismonat  $t_0$  für den Zeitraum 1909-1998. Die Werte wurden per Cross-Validation (U-Methode) bestimmt. Positive Vorhersageleistung ist durch Fettdruck besonders hervorgehoben.